

高密度ホログラム記録用位相板に関する研究

著者	米澤 進
号	411
発行年	1978
URL	http://hdl.handle.net/10097/11360

氏 名	よね ざわ すすむ 米 澤 進
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 54 年 1 月 10 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 40 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	高密度ホログラム記録用位相板に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 星子 幸男 東北大学教授 佐藤利三郎 東北大学教授 稲場 文男 東北大学教授 高木 相

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

情報処理システムにおける記録装置の性能向上に関する要求は益々強くなってきている。本研究は、光を用いた記録技術として期待されているホログラム記録の性能向上に有効な部品である位相板に関して、その新たな構成法を提案するとともに、性能に関する理論的・実験的特性を明らかにしたものである。

第 2 章 ホログラム記録と位相板

本章では、ホログラム記録装置の構成法を示すとともに位相板の位置付けを明らかにする。ホログラム記録装置としては、 10^8 ビット程度以上の記憶容量になると記録媒体を機械的に移動する必要が生じる。図 2-1 の光学配置により得られるフーリエホログラムは、高密度に情報の記録ができるうえ、機械的位置変動による読取誤差が少なく高速にアクセスできるという特長がある。位相板は信号光

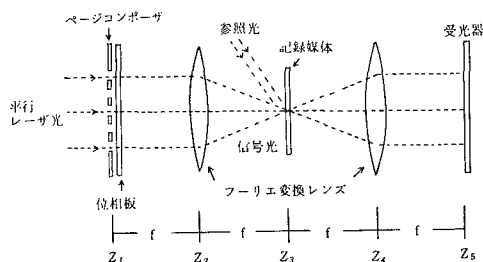


図 2-1 フーリエ光学配置

を分散させることにより，記録媒体の非線形特性による再生信号の劣化を除き，ホログラムの記録密度を高める上に有効である。

第3章 位相板の構成法と作成手順

本章では，位相板の構成法に関する数学的条件を示すとともに，新たな位相板の構成法を提案する。2次元有限フーリエ変換対

$$\begin{cases} H_{jk} = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} G_{mn} \exp \left\{ -2\pi i \left(\frac{jm}{M} + \frac{kn}{N} \right) \right\} \\ G_{mn} = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} H_{jk} \exp \left\{ 2\pi i \left(\frac{jm}{M} + \frac{kn}{N} \right) \right\} \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\text{において} \quad |G_{mn}| = |H_{jk}| = 1 \quad (3.20)$$

を満たす関数 G_{mn} により位相板の位相分布関数を表わす。これによって構成される位相板を一樣位相板と呼ぶ。以下の2つの定理における関数 G により， $N \times N$ の正方マトリクスよりなる新たな位相板の構成法を得る。

$$[\text{定理 1}] \quad G_{mn} = \exp \left(2\pi i \frac{m n}{N} \right) \quad (3.28)$$

$$H_{jk} = \exp \left(-2\pi i \frac{j k}{N} \right)$$

は一樣な2次元有限フーリエ変換対である。

〔定理 2〕

N が2整数 R ， Q の積に分解されると

$$G(s + Rt, u + Qv) = \exp \left\{ 2\pi i \left(\frac{sv}{R} + \frac{tu}{Q} \right) \right\} \quad (3.29)$$

$$H_{jk} = \exp \left\{ -2\pi i \left(\frac{\hat{j}\hat{k} + \hat{j}k}{N} \right) \right\} \quad (3.20)$$

は一樣な2次元有限フーリエ変換対である。

ただし， $j, k, m, n = 0, 1, \dots, N-1$

$$s, v = 0, 1, \dots, R-1$$

$$t, u = 0, 1, \dots, Q-1$$

$$\hat{j} \equiv (\text{mod}, Q), \quad 0 \leq \hat{j} \leq Q-1$$

$$\hat{k} \equiv (\text{mod}, R), \quad 0 \leq \hat{k} \leq R-1$$

位相板の作成手順としては， N を素数 p により素因数分解し

$$N = p_1^{\nu_1} \cdot p_2^{\nu_2} \cdot \dots \cdot p_k^{\nu_k} \quad (3.47)$$

としたとき，全体の蒸着回数とマスクパターンが最も少なくなり

$$\nu_1(p_1 - 1) + \nu_2(p_2 - 1) + \dots + \nu_k(p_k - 1) \quad (3.48)$$

回で位相板を作成できる。

第4章 ガウス和型の新系列位相板

本章では、整数論で知られたガウス和を適用し新たな系列の位相板を提案し、その設計法を示す。ガウス和は、素数 p を法とする指標 $\chi(n)$ を用いて

$$\tau_k = \sum_{n=0}^{p-1} \chi(n) \exp \left(-2\pi i \frac{kn}{p} \right) \quad (4.12)$$

と表わせる。位相板の位相分布を $G_m = \chi(n)$ とし、 $H_k = \tau_k / \sqrt{p}$ と対応づけることにより1次元の有限フーリエ変換対を得、新たな構成法の位相板が設計される。2次元位相板は、 $G_m = \chi(m) \cdot \chi(n)$ として設計される。位相分布を決める指標 $\chi(n)$ は、指数 $\text{Ind}(n)$ により

$$\chi(n) = \exp \left\{ 2\pi i \frac{\sigma \text{Ind}(n)}{p-1} \right\} \quad (4.27)$$

$$\sigma = 1, 2, \dots, p-2 \quad \text{Ind}(n) = 0, 1, \dots, p-2$$

と表わせる。 $\chi(n)$ の位相レベル数は、分数 $p-1$ と σ の値により決まり、位相分布の異なった位相板を設計できる。 $\sigma = (p-1)/2$ と選べば、 p がいかに大きくてもつねに2値の位相レベルよりなる位相板を設計できる。

第5章 位相板の性能評価

本章では、信号光の最大振幅を与える最悪情報パターンにより位相板の性能評価を行うとともに、位相板による性能改善の限界を示す。位相板の構成条件 $|G|=1$ は入力情報が all-1 情報パターンに相当し、ページコンポーザの光スイッチがすべて開き、記録媒体に照射される光エネルギーが最大となる場合に、媒体上の光分布を一様にする条件となっている。情報パターンによっては、 $|H| > 1$ となる場合が生じるため、光振幅を表わす関数 H

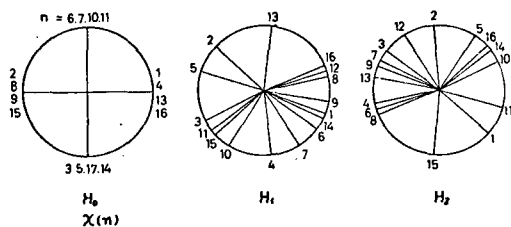


図5-3(a) 4値ガウス和位相板によるベクトル成分 ($p=17$)

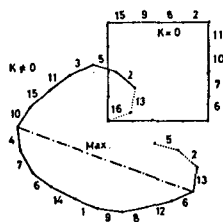


図5-3(b) 4値ガウス和位相板によるベクトル軌跡 ($p=17$)

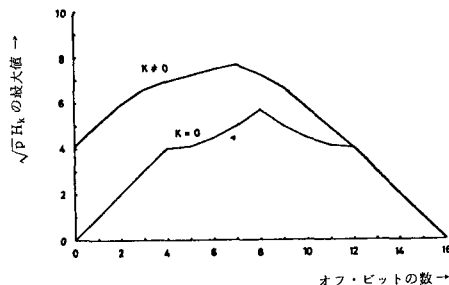


図5-3(c) 情報パターンと最大光振幅
4値ガウス和位相板 $p=17$

審 査 結 果 の 要 旨

光ホログラム記録は情報処理システムに用いられる大容量記憶装置として近年その重要性に対する認識が高まりつつある。この記録システムは原板上の情報パターンをコヒーレントなレーザ光で照射し、レンズ系で収束させて感光性をもつ記録媒体に2次元フーリエ変換像として記憶させるものである。その性能向上には媒体上の像の密度を上げることが重要な課題になるが、このような高密度化には像の信号振巾をできるだけ一様化することが必要である。そのため位相板を挿入し、媒体上の信号振巾を分散させることが考えられている。本論文はこの位相板の構成法についての理論および実験結果をまとめたもので全編7章よりなる。

第1章は序文で、位相板の意義と従来の研究経過を述べたものである。

第2章では位相板を挿入することにより記録媒体上の信号振幅を分散させ媒体の非線形性による再生信号劣化を除去する効果を定量的に求め、記録密度との関係を明らかにしている。

第3章では位相板の構成法に関する諸条件を数学的に表示し、2次元面の周期を素数展開することにより、周期をより小さな周期の組合けとして2次元位相板を構成する理論を述べている。

このような分解による構成法は本研究で初めて明らかにされたものである。

第4章では整数論で知られるガウス和を位相板の設計に適用する方式を考案し、その設計法を示している。すなわち、適当な素数を法とする指標を位相に割当てると、そのガウス和が媒体上の振幅分布になるようにしたもので、位相板の位相レベル数は選ばれた素数によって決定される。そのため最小位相レベル数を2とすることができ、構成の簡単化、高精度化が可能になると同時に高密度化が達せられることを明らかにしている。これは重要な成果と評価できる。

第5章では第4章までに得られた構成法に対し、媒体上の信号の最大振幅を与える情報パターンを基準にして性能の評価法を理論的に与えるとともに性能の限界を求めている。本評価法での位相板の改善度は下限約4、上限約9にあり、本論文で述べたガウス和位相板では上限に近い性能が期待できることを明らかにしている。

第6章はガウス和位相板について各種の位相レベル数をもつ位相板を実際に試作し、実験した結果をまとめたもので第5章の評価とよく適合することを述べ実用性の高いことを明らかにしている。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文はホログラム記録における位相板の新しい理論と構成法を明らかにし、その実証を行ったもので、通信工学および情報工学に資するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。

の最大値を求める必要がある。最大光振幅を求める方法として、関数 H を構成する全ベクトル成分から作図したベクトル軌跡により求める方法を用いる。

例えば、ガウス和位相板では、 $k=0$ 以外の点においてはベクトル構造がすべて相似になるため、 $k=0, 1$ の2点における光振幅を調べることで全体的光分布が推定される。4値ガウス和位相板を例に示すと、図5-3にベクトル構造(a)、ベクトル軌跡(b)、最大光振幅が得られる。各種構成法の位相板について比較した結果、ガウス和位相板が有利なことを示した。

位相板による性能改善度を評価するためベクトル成分の最良な構造を調べると、どのような構成の位相板を用いても、位相板のない場合に比べて、光振幅は $1/\pi$ 以下には下げることができない。一方、一様位相板によるベクトル成分の最悪構造によると、位相板のない場合に比べて、光振幅は最悪でも $1/2$ に減少できる。これより、一様位相板は、それを用いない場合に比べて、光振幅の最大値を $1/\pi \sim 1/2$ に減少し、記録媒体のダイナミック範囲を、 $4 \sim \pi^2$ 倍に増加したことに相当する効果がある。

第6章 ガウス和位相板の特性

本章では、ガウス和位相板の特性を実験的・理論的に示す。ガウス和位相板を用いて、all-1情報パターンにおける信号光強度分布を測定した結果を図6-6(b)に示す。サンプル点における光強度は一様であるが、その中間においては変動しているほか、光スイッチの瞳径によって決まる強度分布の変化が重なっている。しかし、位相板を用いない場合に比べると、光分布は大幅に改善されており、作成したガウス和位相板がホログラム記録に有効であることを示している。

最悪情報パターンを第4章の手法により求め、そのときの信号光強度分布の観測結果を図6-10(a)に示す。最悪情報パターンにおいては局所的に光エネルギーが集中しており、最悪パターン算出法の有効性を確認した。

ホログラムの冗長性に関しては、帯域制限を受けた再生信号を観測した。これによると、劣化が再生画面の全体に分布するため、冗長性の高い記録が行える。冗長性に関する計算機シミュレーションによる比較でも、ガウス和位相板の特性は良く、ホログラム記録に有効である。

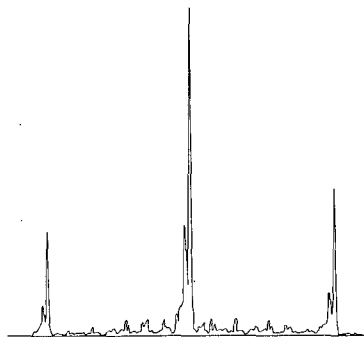


図6-6(b) 2値ガウス和位相板による光強度分布の測定 ($\lambda_0 = 4880 \text{ \AA}$)

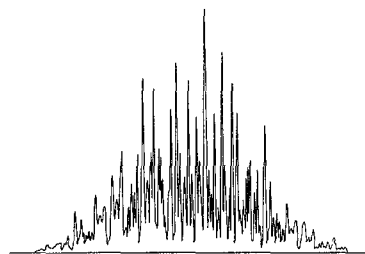


図6-10(a) 最悪情報パターンによる光強度分布測定 ($k=0$ に対して)

第7章 結 論

本研究の意義と各章の主要結果を述べている。